

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

25 MAR 2005

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. April 2004 (08.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2004/030167 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01S 3/102

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003212

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. September 2003 (22.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 45 717.4 25. September 2002 (25.09.2002) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
[DE/DE]; Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HUHSE, Di-
eter [DE/DE]; Stindestrasse 27, 12167 Berlin (DE).
REIMANN, Olaf [DE/DE]; Enkircher Strasse 15, 13465
Berlin (DE). BIMBERG, Dieter [DE/DE]; Hackländer-
weg 28, 14089 Berlin (DE).(74) Anwalt: BAUMGÄRTEL, Gunnar; Maikowski & Nin-
nemann, Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE (Gebrauchsmuster), DK, DM, DZ, EC, EE,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP,
KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA,
MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH,
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des BerichtsZur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR GENERATING AN OPTICAL LASER PULSE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN EINES OPTISCHEN LASERPULSES

(57) Abstract: The invention relates to a method for generating optical laser pulses (Po). In order to generate a particularly low-jitter optical signal, an optical injection pulse (I) of a secondary laser (50) is fed into a main laser (30). Feeding is done in such a way that the optical injection pulse arrives in the main laser (30) when the charge carrier density inside the main laser (30) has just reached or just exceeds the threshold charge carrier density.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen optischer Laserpulse (Po). Um ein besonders jitterarmes optisches Signal zu erzeugen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass in einen Hauptlaser (30) ein optischer Injektionspuls (I) eines Hilfslasers (50) eingespeist wird. Das Einspeisen erfolgt dabei derart, dass der optische Injektionspuls in dem Hauptlaser (30) zu einem Zeitpunkt eintrifft, zu dem die Ladungsträgerdichte im Hauptlaser (30) die Schwellladungsträgerdichte gerade erreicht hat oder gerade überschreitet.

WO 2004/030167 A2

BEST AVAILABLE COPY

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Laserpulses

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen eines optischen Laserpulses.

Bekannt ist ein Verfahren zum Erzeugen von Laserpulsen, bei denen der Hilfslaser im Dauerbetrieb – also ungepulst – betrieben wird („Laser Diode Modulation and Noise“, K. Petermann, 1988, Kluwe Academic Publishers, Seite 46).

In der deutschen Offenlegungsschrift 199 41 122 A1 ist darüber hinaus ein Verfahren zur „Selbstinjektion“ beschrieben. Bei diesem Verfahren wird das Licht eines Lasers über eine Linse in eine Glasfaser eingekoppelt. In der Glasfaser ist ein Fasergitter mit einer Reflektivität zwischen 2 % und 50 % eingeschrieben, dessen spektrale Halbwertsbreite kleiner als der Abstand der Fabry-Perot-Moden des Lasers ist. Das in den Laser von der Glasfaser zurückgekoppelte Licht wirkt auf die Lichtemission im Laser zurück, wodurch sich kurze und jitterarme Pulse erzeugen lassen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, bei dem jitterarme optische Laserpulse mit frei wählbarer Wiederholrate erzeugt werden. Unter dem Begriff „Jitter“ wird dabei ein zeitliches Schwanken bzw. Rauschen der Pulslage der optischen Laserpulse verstanden, sei es relativ zu anderen jeweils zuvor erzeugten Laserpulsen oder sei es relativ zu dem den jeweiligen optischen Laserpuls erzeugenden elektrischen Steuersignal.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist erfindungsgemäß ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 vorgesehen. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 10 beschrieben.

Danach ist vorgesehen, dass der optische Injektionspuls des Hilfslasers derart erzeugt wird, dass er in dem Hauptlaser zu einem Zeitpunkt eintrifft, zu dem aufgrund des

Steuersignals die Ladungsträgerdichte im Hauptlaser die Schwellladungsträgerdichte zur Besetzungsinversion gerade erreicht hat oder gerade überschreitet.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass mit diesem sehr jitterarme Laserpulse – und zwar unabhängig von der Wiederholrate – erzeugt werden können. Dies soll nun kurz erläutert werden: Bei dem Erzeugen eines optischen Injektionspulses, beispielsweise mit einem Halbleiterlaser, ist – im zeitlichen Verlauf betrachtet – zunächst eine spontane Emission zu beobachten, die auf ein unkoordiniertes Rekombinieren von Elektron-Lochpaaren zurückzuführen ist. Zeitlich erst anschließend kommt es zur induzierten Rekombination aufgrund der erreichten Besetzungsinversion. Wird nun dieser durch die spontane Emission noch – bezogen auf das elektrische Hilfsteuersignal – relativ jitterbehaftete Injektionspuls zum „richtigen“ Zeitpunkt in den Hauptlaser eingestrahlt, so werden die bereitgestellten und quasi auf Photonen „wartenden“ Elektron-Lochpaare im Hauptlaser sofort lawinenartig rekombinieren und einen optischen „Ausgangslaserpuls“ (Laserpuls) erzeugen, bei dem der Anteil der spontanen Emission relativ klein ist. Der resultierende Laserpuls des Hauptlasers ist damit auch relativ frei von „Jitter“. Die erfinderische Idee besteht also im Kern darin, einen Injektionspuls genau zu dem Zeitpunkt bereitzustellen, in dem der Hauptlaser aufgrund seiner eigenen Ansteuerung gerade die Besetzungsinversion erreicht hat.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass sich optische Laserpulse mit beliebiger Wiederholrate erzeugen lassen, ohne dass die Eigenschaft des erfindungsgemäßen Verfahrens, dass nämlich jitterarme Pulse erzeugt werden, verloren geht; so ist im Gegensatz zu dem „Selbstinjektionsverfahren“ gemäß der o. g. deutschen Offenlegungsschrift 199 41 122 A1 keine Kavität vorhanden, dessen Länge die Wiederholrate der Laserpulse fest vorgibt.

Ein dritter wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass ein relativ einfacher und damit preisgünstiger Hilfslaser eingesetzt werden kann, da der Hilfslaser ausschließlich zum „Auslösen“ der Laserpulse benötigt wird; ein Dauerbetrieb („cw-Betrieb“) des Hilfslasers mit hoher Dauerleistung, wie er in dem oben erwähnten Buch von K. Petermann beschrieben ist, ist somit nicht erforderlich. Im Übrigen wird durch einen „cw-Betrieb“ ein stets vorhandenes „Hintergrundsignal“

generiert, dass bei vielen Anwendungen störend ist; ein solches „Hintergrundsignal“ ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren stark reduziert.

Zum Auslösen der lawinenartigen induzierten Emission des Hauptlasers wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Wellenlänge des optischen Injektionspulses und die Wellenlänge des Lichts des Hauptlasers im wesentlichen gleich sind. Vorteilhaft liegt die Wellenlänge des optischen Injektionspulses innerhalb der Gewinnbandbreite des Hauptlasers.

Um einfach und damit vorteilhaft zu erreichen, dass der optische Injektionspuls „zum richtigen Zeitpunkt“ im Hauptlaser eintrifft, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn der optische Injektionspuls durch Anlegen eines elektrischen Hilfssteuersignals generiert wird, wobei das Hilfssteuersignal am Hilfslaser zeitlich vor dem Steuersignal am Hauptlaser angelegt wird und wobei die Zeitdifferenz zwischen dem Anlegen des Steuersignals am Hauptlaser und dem Anlegen des Hilfssteuersignals am Hilfslaser mindestens der Zeitspanne entspricht, die der optische Injektionspuls vom Hilfslaser zum Hauptlaser benötigt. Bei dieser vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird berücksichtigt, dass der optische Injektionspuls eine optische Wegstrecke zurückzulegen hat, bevor er vom Hilfslaser kommend den Hauptlaser erreicht.

Das zeitversetzte Anlegen des elektrischen Steuersignals und des elektrischen Hilfssignals lässt sich dabei in vorteilhafter Weise erreichen, indem die elektrischen Laufzeiten des Steuersignals und des Hilfssteuersignals zum Haupt- und Hilfslaser geeignet gewählt werden.

Das elektrische Steuersignal und das elektrische Hilfssteuersignal können dabei mit demselben Signalgenerator erzeugt werden; dabei ist dann der Signalgenerator über eine erste Ansteuerleitung mit dem Hauptlaser und über eine zweite Ansteuerleitung mit dem Hilfslaser zu verbinden. Die erste Ansteuerleitung und die zweite Ansteuerleitung müssen dabei nicht über ihre gesamte Leitungslänge völlig getrennte Einzelleitungen sein; im Hinblick auf eine Materialeinsparung ist es vielmehr als vorteilhaft anzusehen, wenn die erste und die zweite Ansteuerleitung zumindest abschnittsweise denselben Draht bzw. dieselbe Leitung gemeinsam benutzen.

Statt mit einem einzigen Signalgenerator können das Steuersignal und das Hilfsteuersignal auch mit zwei Signalgeneratoren erzeugt werden. Um dabei sicherzustellen, dass die Signale „im Takt“ sind, sollten die Signalgeneratoren vorzugsweise synchronisiert oder getriggert sein, beispielsweise durch ein gemeinsames Triggersignal.

Wie bereits oben erläutert, ist es vorteilhaft, wenn die Laufzeiten der elektrischen Signale (d. h. des Steuersignals und des Hilfssteuersignals) berücksichtigt werden; dies ist in einfacher Weise und damit vorteilhaft durchführbar, indem die Leitungslängen der elektrischen Ansteuerleitungen geeignet gewählt werden; beispielsweise kann die Länge der ersten Ansteuerleitung so gewählt sein, dass die Laufzeit des Steuersignals zum Hauptlaser so groß ist wie die Laufzeitsumme, die sich durch Addition aus der Laufzeit, die das Hilfsteuersignal über die zweite Ansteuerleitung zum Hilfslaser benötigt, und der Laufzeit, die der optische Injektionspuls vom Hilfslaser zum Hauptlaser benötigt, ergibt.

Das Einspeisen des Injektionspulses in den Hauptlaser lässt sich vorteilhaft über einen optischen Teiler, insbesondere einen Faserteiler erreichen, über den auch die Auskopplung des von dem Hauptlaser erzeugten Laserpulses erfolgt.

Da Halbleiterlaser besonders kostengünstig sind, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn der optische Injektionspuls und/oder der optische Laserpuls mit einem Halbleiterlaser erzeugt werden. Beispielsweise können als Haupt- und Hilfslaser DFB (DFB: Distributed Feedback)-Laser oder DBR (DBR: Distributed Bragg Reflection)-Laser eingesetzt werden. Der Vorteil von DFB-Lasern und DBR-Lasern besteht darin, dass diese im Wesentlichen einmodig sind, also ihr Laserlicht in einem vorgegebenen Mode aussenden.

Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Hauptlaser ein Fabry-Perot-Laser und als Hilfslaser ein DFB-Laser oder ein DBR-Laser verwendet. Ein Fabry-Perot-Laser ist relativ kostengünstig; er weist jedoch den Nachteil auf, dass er mehrmodig ist bzw. „mehrmodig“ schwingt. Dieser Nachteil kommt jedoch – wie von den Erfindern festgestellt wurde – vorliegend nicht zum Tragen, wenn als Hilfslaser ein DFB- bzw. DBR-Laser verwendet wird. Durch den einmodigen Injektionspuls des im wesentlichen einmodigen Hilfslasers wird ausschließlich der zugehörige Mode des Hauptlasers angeregt, so dass der Fabry-Perot-Laser trotz seiner

aufbaubedingten bzw. komponenten-typischen Mehrmodigkeit stets im vorgegebenen Mode schwingen wird. Im Ergebnis wird somit gemäß der bevorzugten Weiterbildung das erfindungsgemäße Verfahren im einmodigen Betrieb besonders kostengünstig durchgeführt, weil als Hauptlaser ein kostengünstiger Fabry-Perot-Laser eingesetzt wird. Mit anderen Worten wird also gegenüber einer Lösung, bei der zwei relativ teure, einmodig arbeitende Laser (z.B. DFB- oder DBR-Laser) als Haupt- und Hilfs laser eingesetzt werden, einer der beiden teuren Laser durch einen besonders kostengünstigen Fabry-Perot-Laser ersetzt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich im Übrigen nicht nur ein einzelner Laserpuls, sondern – nacheinander - auch eine Vielzahl von jitterarmen Laserpulsen, also ein Laserpulszug, erzeugen; es wird daher also als vorteilhaft angesehen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren beispielsweise zur Nachrichtenübertragung verwendet wird.

Der Erfindung liegt außerdem die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung anzugeben, mit der sich ein besonders jitterarmer optischer Laserpuls mit frei wählbarer, also beliebiger Wiederholrate erzeugen lässt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in Unteransprüchen beschrieben.

Bezüglich der Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung und ihrer vorteilhaften Ausgestaltungen wird auf die obigen Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

Zur Erläuterung der Erfindung zeigt eine Figur ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Vorrichtung, mit der sich auch das erfindungsgemäße Verfahren durchführen lässt.

Die Figur zeigt einen Signalgenerator 10, der ausgangsseitig über eine erste Ansteuerleitung 20 mit einem Hauptlaser 30 – vorzugsweise einem mehrmodigen Fabry-Perot-Halbleiterlaser – verbunden ist. Der Signalgenerator 10 ist ausgangsseitig über eine zweite Ansteuerleitung 40 mit einem Hilfs laser 50 verbunden, bei dem es sich

vorzugsweise um einen einmodig schwingenden DFB-Halbleiterlaser oder einen einmodig schwingenden DBR-Halbleiterlaser handelt. Die erste Ansteuerleitung 20 und die zweite Ansteuerleitung 40 haben einen gemeinsamen Leitungsabschnitt 60; auf diesem gemeinsamen Leitungsabschnitt 60 sind die beiden Ansteuerleitungen 20 und 40 durch einen einzigen Leiter bzw. eine einzelne Leitung gebildet. Die beiden Ansteuerleitungen 20 und 40 teilen sich also diesen gemeinsamen Leitungsabschnitt 60.

An einem optischen Ausgang A des Hilfslasers 50 ist ein Ende einer optischen Übertragungsleitung 100, z. B. einer Glasfaser oder eine Polymerleitung, an den Hilfslaser 50 angeschlossen. Diese Übertragungsleitung 100 ist mit ihrem anderen Ende mit einem ersten Anschluss 110 eines faseroptischen Teilers verbunden. Ein zweiter Anschluss 130 des faseroptischen Teilers 120 ist an einen optischen Ausgang B des Hauptlasers 30 angeschlossen. Ein dritter Anschluss 140 des faseroptischen Teilers 120 bildet den optischen Ausgang 150 einer durch den Signalgenerator 10, die beiden Laser 30 und 50 und den faseroptischen Teiler 120 gebildeten Vorrichtung 160 zum Erzeugen jitterarmer optischer Laserpulse Po.

Die Vorrichtung 160 wird wie folgt betrieben:

An einem Eingang E10 des Signalgenerators 10 wird ein Trigger- oder Synchronisationssignal T an den Signalgenerator 10 angelegt. Bei Eingang des Triggersignals T erzeugt der Signalgenerator 10 einen gaussförmigen Puls P vorgegebener Länge; dieser Puls P bildet ein elektrisches Steuersignal St für den Hauptlaser 30 und ein elektrisches Hilfssteuersignal HSt für den Hilfslaser 50.

Aufgrund der Leitungslänge L1 der ersten Ansteuerleitung 20 benötigt das Steuersignal St eine Laufzeit Δt_{e1} , um von dem Signalgenerator 10 zum dem Hauptlaser 30 zu gelangen.

Das Hilfssteuersignal HSt benötigt für seinen Weg über die zweite Ansteuerleitung 40 mit der Länge L2 eine Laufzeit von Δt_{e2} .

Wenn nun das Hilfssteuersignal HSt im Hilfslaser 50 eintrifft, werden im Hilfslaser 50 Elektron-Lochpaare erzeugt. Sobald die Besetzungsinversion im Hilfslaser 50 erreicht ist,

beginnt der Laserbetrieb des HilfsLasers 50 und am Ausgang A wird ein optischer Injektionspuls I abgegeben.

Die Zeitspanne, die zwischen dem Eintreffen des Hilfssteuersignals HSt und dem Erreichen der Besetzungsinversion bzw. der Abgabe des optischen Injektionspulses I vergeht, soll nachfolgend als Δt_{i2} bezeichnet werden.

Der so im HilfsLaser 50 erzeugte optische Injektionspuls I gelangt nun über die optische Übertragungsleitung 100 zum faseroptischen Teiler 120 und von dort zum HauptLaser 30. Für diese Strecke vom HilfsLaser 50 bis zum HauptLaser 30 benötigt der optische Injektionspuls I die Zeit Δt_{o2} .

Die Vorrichtung 160 gemäß der Figur ist nun so dimensioniert, dass in dem HauptLaser 30 zum Zeitpunkt des Eintreffens des Injektionspulses I gerade Besetzungsinversion erreicht ist; das heißt, dass der HauptLaser kurz davor steht, selbst in den Laserbetrieb überzugehen. Wie diese „Dimensionierung“ der Vorrichtung 160 erreicht wird, soll nun im Detail erläutert werden:

Wie bereits beschrieben, vergeht von dem Zeitpunkt, an dem das Hilfssteuersignal HSt erzeugt wurde, bis zu dem Zeitpunkt, an dem der optische Injektionspuls I den HauptLaser 30 erreicht, eine Zeitspanne Δt_{ges2} , die sich zusammensetzt gemäß:

$$\Delta t_{ges2} = \Delta t_{e2} + \Delta t_{i2} + \Delta t_{o2}.$$

Das Steuersignal St benötigt auf der ersten Ansteuerleitung 20 für seinen Weg vom Signalgenerator 10 zum HauptLaser 30 eine Zeitspanne Δt_{e1} . Nach der „Ankunft“ des Steuersignals St werden in dem HauptLaser 30 Elektron-Lochpaare generiert, weil aufgrund des Steuersignals St ein entsprechender Strom durch den HauptLaser 30 fließt. Die Zeitspanne bis zum Vorliegen einer Besetzungsinversion im HauptLaser 30 soll nun mit Δt_{i1} bezeichnet werden.

Wenn nun also erreicht werden soll, dass im HauptLaser 30 Besetzungsinversion gerade dann erreicht wird, wenn der optische Injektionspuls I im HauptLaser 30 eintrifft, muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\Delta t_{e1} + \Delta t_{i1} = \Delta t_{ges2} = \Delta t_{e2} + \Delta t_{i2} + \Delta t_{o2}.$$

Da Δt_{i1} ungefähr so groß ist, wie Δt_{i2} und darüber gilt:

$$\Delta t_{i1} \ll \Delta t_{e1} \text{ und } \Delta t_{i2} \ll \Delta t_{e2} + \Delta t_{o2},$$

kommt man zu der vereinfachten Bedingung:

$$\Delta t_{e1} = \Delta t_{e2} + \Delta t_{o2}$$

Diese vereinfachte Bedingung bedeutet also, dass die Laufzeit des elektrischen Steuersignals Δt_{e1} angepasst sein soll an die Laufzeitsumme, die sich durch Addition von Δt_{e2} und Δt_{o2} ergibt.

Eine Anpassung der Laufzeiten kann nun in unterschiedlicher Weise erfolgen: So kann die Anpassung beispielsweise über die Auswahl der elektrischen Eigenschaften der beiden elektrischen Ansteuerleitungen erfolgen, indem beispielsweise die Dielektrika in den Leitungen und damit die Dielektrizitätszahlen geeignet gewählt werden, woraus sich unterschiedliche Phasengeschwindigkeiten der elektrischen Signale auf den Ansteuerleitungen ergeben würden.

Denkbar ist aber auch eine Anpassung über die Auswahl der Längen der beiden elektrischen Ansteuerleitungen. Dies soll nun nachfolgend an einem Beispiel näher erläutert werden, bei dem angenommen wird, dass der optische Injektionspuls I über eine Glasfaser mit einer Länge L_3 (Brechzahl $n=1,5$) übertragen wird. Die elektrischen Ansteuerleitungen sollen der Einfachheit halber Koaxialleiter ohne Dielektrikum sein:

$$\begin{aligned} \Delta t_{e1} &= \Delta t_{e2} + \Delta t_{o2} \\ L_1/c &= L_2/c + L_3/(c/n) \\ \Rightarrow L_1 &= L_2 + n \cdot L_3 \\ &= L_2 + 1,5 \cdot L_3 \end{aligned}$$

Im Ergebnis kann die Laufzeitanpassung also erreicht werden, indem die Länge L1 der ersten Ansteuerleitung 20 geeignet gewählt wird. Statt dessen kann natürlich auch die Länge L2 der zweiten Ansteuerleitung 40 oder die Länge L3 der optischen Übertragungsstrecke 100 entsprechend angepasst werden.

Eine Feinanpassung der Laufzeiten lässt sich in vorteilhafter Weise mit einem Phasenschieber oder einer Verzögerungsleitung erreichen. Dabei kann es sich um einen elektrischen Phasenschieber oder eine elektrische Verzögerungsleitung handeln, der bzw. die in der ersten oder in der zweiten Ansteuerleitung 20 bzw. 40 angeordnet ist, oder um einen optischen Phasenschieber oder eine optische Verzögerungsleitung in der optischen Übertragungsstrecke 100.

Bezugszeichen

10	Signalgenerator
20	Erste Ansteuerleitung
30	Hauptlaser
40	Zweite Ansteuerleitung
50	Hilfslaser
60	Gemeinsamer Leitungsabschnitt
100	Optische Übertragungsleitung
110	Erster Anschluss eines faseroptischen Teilers
120	Faseroptischer Teiler
130	Zweiter Anschluss des optischen Teilers
140	Dritter Anschluss des faseroptischen Teilers
150	Ausgang der Vorrichtung
160	Vorrichtung
A	Optischer Ausgang des Hilfslasers
B	Optischer Ausgang des Hauptlasers
T	Triggersignal
I	Optischer Injektionspuls
Po	Optische Laserpulse
St	Steuersignal
HSt	Hilfssteuersignal
L1, L1, L3	Längen
E10	Eingang des Signalgenerators
Δt_{e1}	Laufzeit über die erste Ansteuerleitung
Δt_{e2}	Laufzeit über die zweite Ansteuerleitung
Δt_{i1}	Zeit zum Erreichen der Besetzungsinversion im Hauptlaser
Δt_{i2}	Zeit zum Erreichen der Besetzungsinversion im Hilfslaser
Δt_{o2}	Zeit für die Übertragung des optischen Injektionssignals I zum Hauptlaser

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines optischen Laserpulses (Po), bei dem

- ein Hauptlaser (30) mit einem elektrischen Steuersignal (St) angesteuert wird und
- der optische Laserpuls (Po) mit dem Hauptlaser (30) erzeugt wird,
- wobei in den Hauptlaser (30) ein optischer Injektionspuls (I) eines Hilfslasers (50) eingespeist wird und
- wobei der optische Injektionspuls (I) derart erzeugt wird, dass er in dem Hauptlaser (30) zu einem Zeitpunkt eintrifft, zu dem aufgrund des Steuersignals (St) die Ladungsträgerdichte im Hauptlaser (30) die Schwellladungsträgerdichte gerade erreicht hat oder gerade überschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der optische Injektionspuls (I) durch Anlegen eines elektrischen Hilfssteuersignals (HSt) generiert wird,
- wobei das Hilfssteuersignal (HSt) am Hilfslaser (50) zeitlich vor dem Steuersignal (St) am Hauptlaser (30) angelegt wird und
- wobei die Zeitdifferenz zwischen dem Anlegen des Steuersignals (St) am Hauptlaser (30) und dem Anlegen des Hilfssteuersignals (HSt) am Hilfslaser (50) der Zeitspanne entspricht, die der optische Injektionspuls (I) vom Hilfslaser (50) zum Hauptlaser (30) benötigt.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das zeitversetzte Anlegen des elektrischen Steuer- und Hilfssteuersignals (St, HSt) bewirkt wird, indem die elektrischen Laufzeiten des Steuersignals (St) und des Hilfssteuersignals (HSt) zum Haupt- und Hilfslaser geeignet gewählt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das elektrische Steuersignal (St) und das Hilfssteuersignal (HSt) mit demselben Signalgenerator (10) erzeugt werden, wobei

- der Signalgenerator (10) über eine erste Ansteuerleitung (20) mit dem Hauptlaser (30) und über eine zweite Ansteuerleitung (40) mit dem Hilfslaser (50) verbunden wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Steuersignal und das Hilfssteuersignal mit zwei synchronisierten Signalgeneratoren erzeugt werden, wobei
- der eine Signalgenerator über eine erste Ansteuerleitung mit dem Hauptlaser und der weitere Signalgenerator über eine zweite Ansteuerleitung mit dem Hilfslaser verbunden wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Länge (L1) der ersten Ansteuerleitung (20) so gewählt wird, dass die Laufzeit des Steuersignals (St) zum Hauptlaser (30) so groß ist wie die Laufzeitssumme, die sich durch Addition aus der Laufzeit, die das Hilfssteuersignal (HSt) über die zweite Ansteuerleitung (40) zum Hilfslaser (50) benötigt, und der Laufzeit, die der optische Injektionspuls (I) vom Hilfslaser (50) zum Hauptlaser (30) benötigt, ergibt.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der optische Injektionspuls (I) des Hilfslasers (50) über einen optischen Teiler (120) in den Hauptlaser (30) eingespeist wird und
- der optische Laserpuls (Po) des Hauptlasers (30) über diesen optischen Teiler (120) ausgekoppelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der optische Injektionspuls und/oder der optische Laserpuls mit einem Halbleiterlaser erzeugt werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der optische Injektionspuls mit einem im Wesentlichen einmodig emittierenden Laser, vorzugsweise einem DFB-Laser oder einem DBR-Laser, und der optische Laserpuls mit einem mehrmodigen Laser, vorzugsweise einem Fabry-Perot-Laser, (30) erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

- in der beschriebenen Weise eine Vielzahl von optischen Laserpulsen erzeugt wird.

11. Vorrichtung zum Erzeugen eines optischen Laserpulses (Po) mit

- einem Hauptlaser (30), der mit einem elektrischen Steuersignal (St) angesteuert wird und den optischen Laserpuls (Po) erzeugt, und
- einem mit dem Hauptlaser (30) optisch verbundenen Hilfslaser (50), der einen optischen Injektionspuls (I) in den Hauptlaser (30) einspeist,
- wobei der Hilfslaser (50) mit einem elektrischen Hilfssteuersignal (HSt) derart beaufschlagt ist, dass sein optischer Injektionspuls (I) in dem Hauptlaser (30) zu einem Zeitpunkt eintrifft, zu dem die Ladungsträgerdichte des Hauptlasers (30) die Schwellladungsträgerdichte gerade erreicht hat oder gerade überschreitet.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Hilfssteuersignal (HSt) an dem Hilfslaser (50) anliegt, bevor das Steuersignal (St) an dem Hauptlaser (30) anliegt,
- und zwar um eine Zeitdifferenz zeitversetzt, die der Zeitspanne entspricht, die der optische Injektionspuls (I) vom Hilfslaser (50) zum Hauptlaser (30) benötigt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das zeitversetzte Anlegen des elektrischen Steuer- und Hilfssteuersignals (St, HSt) bewirkt ist, indem die elektrischen Laufzeiten des Steuersignals (St) und des Hilfssteuersignals (HSt) zum Haupt- und Hilfslasers (30, 50) geeignet gewählt sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Hauptlaser (30) über eine erste Ansteuerleitung (20) und der Hilfslaser (50) über eine zweite Ansteuerleitung (40) mit demselben Signalgenerator (10) verbunden sind, der das elektrische Steuersignal (St) für den Hauptlaser (30) und das Hilfssteuersignal (HSt) für den Hilfslaser (50) erzeugt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Hauptlaser (30) über eine erste Ansteuerleitung (20) mit einem Signalgenerator (10) und der Hilfslaser (50) über eine zweite Ansteuerleitung (40) mit einem weiteren Signalgenerator (10) verbunden ist,
- wobei die beiden Signalgeneratoren (10) synchronisiert sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Länge der ersten Ansteuerleitung (20) so gewählt ist, dass die Laufzeit des Steuersignals (St) zum Hauptlaser (30) genauso groß ist wie die Laufzeitsumme, die sich durch Addition aus der Laufzeit, die das Hilfssteuersignal (HSt) über die zweite Ansteuerleitung (40) zum Hilfslaser (50) benötigt, und der Laufzeit, die der optische Injektionspuls (I) vom Hilfslaser (50) zum Hauptlaser (30) benötigt, ergibt.

17. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche 11 bis 16,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Hauptlaser (30) über einen optischen Teiler an den Hilfslaser (50) angeschlossen ist.

18. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche 11 bis 17,

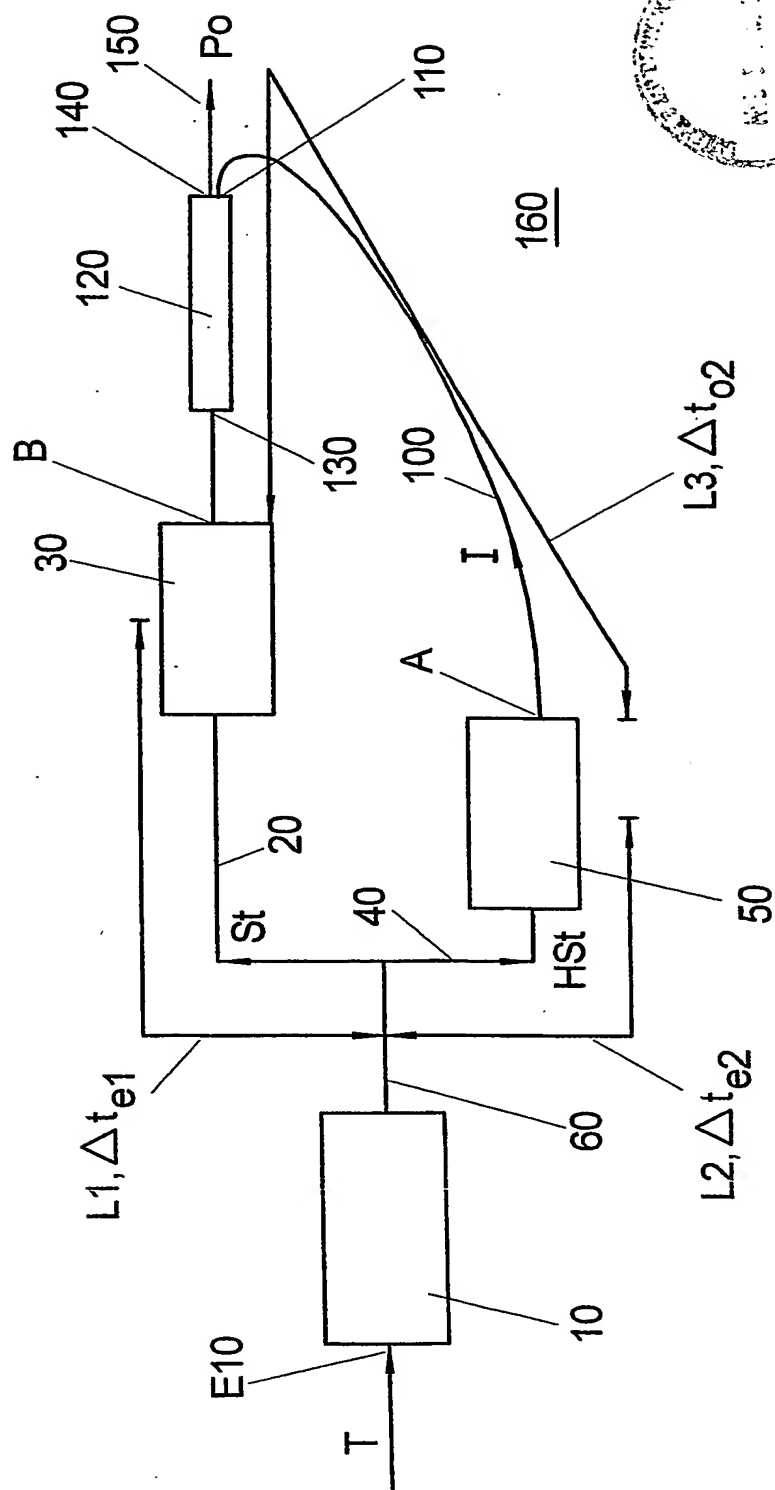
dadurch gekennzeichnet, dass

- der Hilfslaser (50) und/oder der Hauptlaser (30) ein Halbleiterlaser ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche 11 bis 18,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der Hilfslaser (50) ein im Wesentlichen einmodig emittierender Laser, vorzugsweise ein DFB-Laser oder ein DBR-Laser, und der Hauptlaser (30) ein mehrmodig emittierender Laser, vorzugsweise ein Fabry-Perot-Laser, ist.



(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



25 MAR 2005

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. April 2004 (08.04.2004)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/030167 A3

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01S 5/40

REIMANN, Olaf [DE/DE]; Enkircher Strasse 15, 13465 Berlin (DE). **BIMBERG, Dieter** [DE/DE]; Hackländerweg 28, 14089 Berlin (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003212

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. September 2003 (22.09.2003)

(74) Anwalt: BAUMGÄRTEL, Gunnar; Maikowski & Ninnemann, Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE (Gebrauchsmuster), DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NZ, NI, NO, NM, OH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TZ, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 45 717.4 25. September 2002 (25.09.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN [DE/DE]; Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

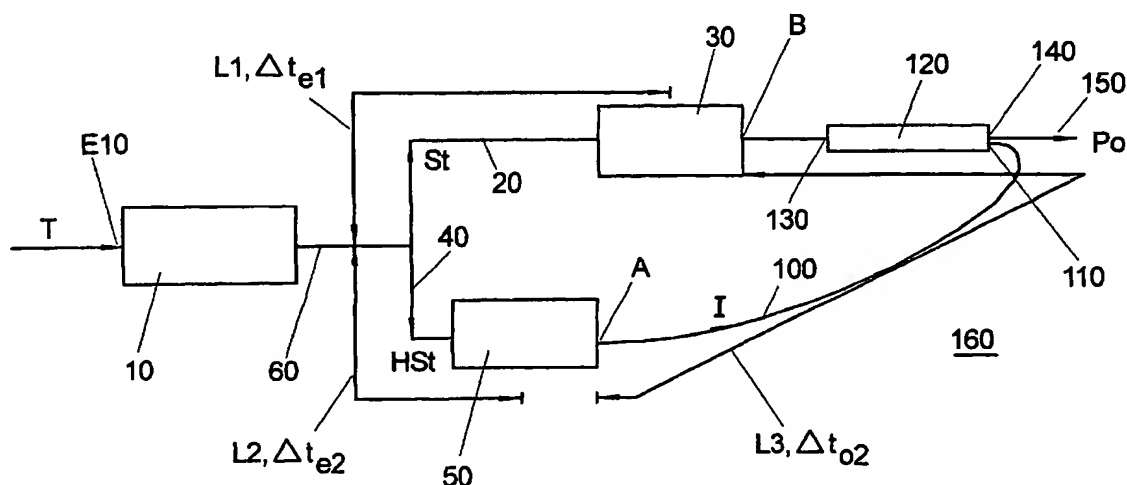
(72) Erfinder; und

(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **HUHSE, Dieter** [DE/DE]; Stindestrasse 27, 12167 Berlin (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR GENERATING AN OPTICAL LASER PULSE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN EINES OPTISCHEN LASERPULSES



(57) Abstract: The invention relates to a method for generating optical laser pulses (Po). In order to generate a particularly low-jitter optical signal, an optical injection pulse (I) of a secondary laser (50) is fed into a main laser (30). Feeding is done in such a way that the optical injection pulse arrives in the main laser (30) when the charge carrier density inside the main laser (30) has just reached or just exceeds the threshold charge carrier density.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen optischer Laserpulse (Po). Um ein besonders jitterarmes optisches Signal zu erzeugen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass in einen Hauptlaser (30) ein optischer Injektionspuls (I) eines HilfsLasers (50) eingespeist wird. Das Einspeisen erfolgt dabei derart, dass der optische Injektionspuls in dem Hauptlaser (30) zu einem Zeitpunkt eintrifft, zu dem die Ladungsträgerdichte im Hauptlaser (30) die Schwellladungsträgerdichte gerade erreicht hat oder gerade überschreitet.

WO 2004/030167 A3



PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen
Recherchenberichts:

5. August 2004

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/03212

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01S5/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 226 (E-202), 7 October 1983 (1983-10-07) & JP 58 115947 A (NIPPON DENKI KK), 9 July 1983 (1983-07-09) abstract	1,2,7,8, 10-12, 17,18
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 234 (E-344), 20 September 1985 (1985-09-20) & JP 60 086885 A (FUJITSU KK), 16 May 1985 (1985-05-16)	1
X	abstract	11
A	----- US 4 101 845 A (RUSSETER PETER) 18 July 1978 (1978-07-18) figures 1,13	1,11
	----- --/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 May 2004

Date of mailing of the international search report

14/06/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hervé, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 03/03212

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 44 27 090 A (SEL ALCATEL AG) 1 February 1996 (1996-02-01) the whole document -----	1, 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/03212

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 58115947	A	09-07-1983	JP 1395008 C	11-08-1987
			JP 61060622 B	22-12-1986
JP 60086885	A	16-05-1985	NONE	
US 4101845	A	18-07-1978	DE 2514140 A1	30-09-1976
			DE 2548796 A1	05-05-1977
			FR 2306551 A1	29-10-1976
			GB 1543405 A	04-04-1979
			JP 51122388 A	26-10-1976
DE 4427090	A	01-02-1996	DE 4427090 A1	01-02-1996

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S5/40

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETEResearchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01S

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 226 (E-202), 7. Oktober 1983 (1983-10-07) & JP 58 115947 A (NIPPON DENKI KK), 9. Juli 1983 (1983-07-09) Zusammenfassung	1,2,7,8, 10-12, 17,18
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 234 (E-344), 20. September 1985 (1985-09-20) & JP 60 086885 A (FUJITSU KK), 16. Mai 1985 (1985-05-16)	1
X	Zusammenfassung	11
A	US 4 101 845 A (RUSSER PETER) 18. Juli 1978 (1978-07-18) Abbildungen 1,13	1,11
	--- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Mai 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hervé, D

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 44 27 090 A (SEL ALCATEL AG) 1. Februar 1996 (1996-02-01) das ganze Dokument -----	1,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03212

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 58115947	A	09-07-1983	JP	1395008 C	11-08-1987
			JP	61060622 B	22-12-1986
JP 60086885	A	16-05-1985	KEINE		
US 4101845	A	18-07-1978	DE	2514140 A1	30-09-1976
			DE	2548796 A1	05-05-1977
			FR	2306551 A1	29-10-1976
			GB	1543405 A	04-04-1979
			JP	51122388 A	26-10-1976
DE 4427090	A	01-02-1996	DE	4427090 A1	01-02-1996

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.